



УДК 621.313.32

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММЫ ПОТЬЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ LABVIEW**AUTOMATION OF THE CONSTRUCTION THE POTIER DIAGRAM USING LABVIEW SYSTEM DESIGN SOFTWARE**

Булатов Иван Александрович, студент каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: tirexvista@mail.ru, Тел.: +7(343)375-45-73

Мойсейченко Александр Николаевич, канд. техн. наук, доцент каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: a.n.moiseichenkov@urfu.ru. Тел.: +7(343)375-45-73

Ivan A. Bulatov, student, Electrical Machines Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Yekaterinburg, Russia. E-mail: tirexvista@mail.ru. Ph.: +7(343)375-45-73

Alexander N. Moiseichenkov, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Electrical Machines Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Yekaterinburg, Russia. E-mail: a.n.moiseichenkov@urfu.ru. Ph.: +7(343)375-45-73

Аннотация: Приведено описание виртуального прибора (программного модуля) в среде разработки программного обеспечения LabVIEW выполняющего автоматическое построение диаграммы Потье по результатам измерений параметров режима работы синхронной машины.

Abstract: The paper describes the virtual instrument (software module) developed in the software development environment LabVIEW, which automatically constructs the Potier diagram based on the measurements results of the operation mode parameters of the synchronous machine.

Ключевые слова: синхронная машина; диаграмма Потье; индуктивное сопротивление Потье.

Key words: synchronous machine; Potier diagram; Potier reactance.

ВВЕДЕНИЕ

Для наглядного представления информации и для анализа режимов работы синхронных машин (СМ) могут применяться векторные диаграммы МДС и напряжения, соответствующие уравнениям СМ включая диаграмму Потье [1]. Диаграмма Потье соответствующая уравнениям СМ с насыщенным магнитопроводом в установившемся симметричном режиме работы может применяться для определения параметров и характеристик СМ:

- номинального тока возбуждения [1-4];
- регулировочных характеристик [1];
- U -образных характеристик [1];
- изменения напряжения при отключении нагрузки [1-4];
- угла нагрузки СМ [4].

При измерении тока возбуждения СМ диаграмма Потье может применяться для контроля технического состояния СМ, системы возбуждения, измерительных преобразователей,

измерительно-вычислительного комплекса [5]. При известном токе возбуждения или значении угла нагрузки СМ диаграмма Потье позволяет определить величину расчетного индуктивного сопротивления Потье X_p .

Современный уровень развития измерительно-вычислительных комплексов позволяет выполнять автоматическую обработку и визуализацию результатов измерений.

В результате учебно-исследовательской работы студента (УИРС) разработан программный модуль («виртуальный прибор») в среде разработки программного обеспечения LabVIEW фирмы National Instruments «Построение векторной диаграммы Потье».

Разработанный модуль предназначен для автоматического построения и визуализации диаграммы Потье измерительно-вычислительным комплексом по результатам измерений мгновенных значений напряжения и тока фаз

обмотки якоря СМ, тока обмотки возбуждения СМ, сигнала лазерного фотоотметчика оборотов для определения частоты вращения ротора.

Характеристики и параметры, используемые для построения диаграммы, предварительно определяются в результате обработки экспериментальных данных в соответствии с [2, 3, 4] программными модулями, ранее разработанными студентами при выполнении УИРС в среде разработки программного обеспечения *LabVIEW*.

Для построения диаграммы программный модуль может использовать характеристику холостого хода и характеристику 3-фазного короткого замыкания из протокола испытаний СМ, выполненных ранее, например, на заводе-изготовителе.

ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Для тестирования модуля использовались результаты измерений, полученные при проведении испытаний на испытательном стенде в учебной лаборатории кафедры «Электрические машины» УрФУ с применением многоканальных измерительно-вычислительных комплексов *NI-AK-1020* и *NI-IX-1520* на программно-аппаратной платформе *PXI* фирмы *National Instruments*. Для измерения токов применялись датчики тока фирмы *LEM* типа *LA-55-sp1*. Для измерения напряжения - датчики напряжения фирмы *LEM* типа *LV-25-400*. Для измерения частоты вращения ротора использовался лазерный фотоотметчик оборотов фирмы "Диамех 2000" типа *KP-020L*.

Разработанный модуль может быть использован для обработки файлов данных, полученных измерительным оборудованием с функцией регистрации данных.

ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ИЗМЕРЯЕМЫХ ВЕЛИЧИН

Первичная обработка сигналов измеряемых величин выполняется в следующей последовательности:

- 1) приведение результатов измерения напряжений и токов к масштабам измеряемых физических величин в соответствии с результатами калибровки измерительных каналов;
- 2) определение среднего значения тока возбуждения СМ $I_{f\text{СМ}}$;
- 3) определение частоты основной гармоники напряжения обмотки якоря СМ $f_{\text{СМ}}$ для осциллограммы мгновенных значений напряжения обмотки якоря СМ;
- 4) определение среднеквадратического значения основных гармоник напряжения фаз и/или междуфазных напряжений обмотки якоря СМ.

5. Определение частоты вращения ротора n по сигналу (осциллограмме импульсов) от лазерного фотоотметчика оборотов.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОТЬЕ

Диаграмма Потье строится с применением индуктивного сопротивления Потье X_p [6], учитывающего рассеяние обмотки возбуждения при нагрузке и в зоне перевозбуждения, которое используется вместо индуктивности рассеяния обмотки якоря X_σ для расчета МДС возбуждения при нагрузке по методу Потье.

Расчетное индуктивное сопротивление Потье определяют графическим построением [2,3] по характеристикам холостого хода, установившегося 3-фазного короткого замыкания и по точке нагрузочной характеристики, соответствующей номинальным значениям напряжения и тока якоря в режиме перевозбуждения с коэффициентом мощности, близким к нулю или расчетом, соответствующим графическому построению.

Пример построения треугольника Потье программным модулем приведен на рис. 1.

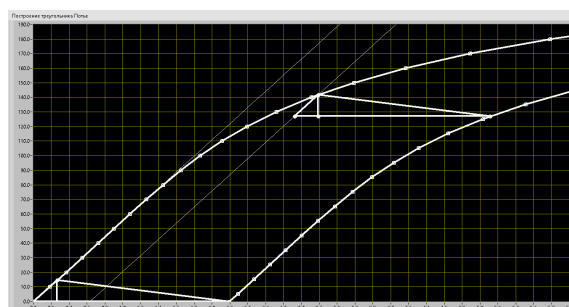


Рис. 1. Пример построения треугольника Потье программным модулем

Величина расчетного индуктивного сопротивления Потье X_p может быть определена при построении диаграммы Потье если известен угол нагрузки СМ или ток возбуждения.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ «ПОСТРОЕНИЕ ВЕКТОРНОЙ ДИАГРАММЫ ПОТЬЕ»

Разработанный программный модуль выполняет автоматическое построение диаграммы Потье в установившемся режиме работы СМ при проведении экспериментальных исследований и/или при работе СМ непосредственно по назначению. При построении векторной диаграммы вектора строятся в относительных единицах. Методы построения диаграммы Потье соответствуют [2, 3, 4]. Положительное

направление для отсчета углов принято против часовой стрелки.

Диаграмма Потье, исходные данные для ее построения и рассчитанные значения параметров режима работы СМ выводятся на передней панели «виртуального прибора». Пример диаграммы Потье для СМ в режиме нагруженного генератора, построенной в масштабе относительных единиц, представлен на рис.2.

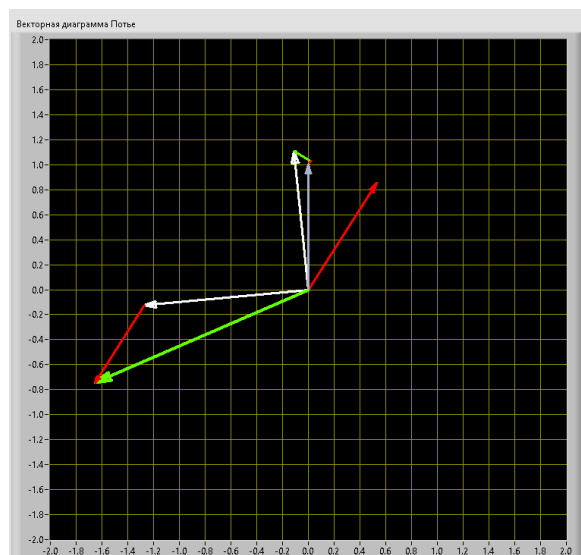


Рис. 2. Пример построенной диаграммы Потье

Вектор ЭДС e_p , равен сумме векторов:

- 1) вектора напряжения (на зажимах обмотки якоря СМ) u ;
- 2) вектора падения напряжения прямой последовательности на известном активном сопротивлении обмотки якоря прямой последовательности $R_{(1)}i$. Вектор $R_{(1)}i$ совпадает с направлением вектора тока якоря i для СМ в режиме генератора и противоположно направлен - для СМ в режиме двигателя;
- 3) вектора падения напряжения на индуктивном сопротивлении Потье $X_p i$, направленного под углом 90° к вектору тока якоря i .

Ток возбуждения i_{fp} соответствующий ЭДС e_p определяется по характеристике холостого хода, его значение откладывается под углом 90° к вектору ЭДС e_p . Составляющая тока возбуждения i_{fa} , компенсирующая реакцию якоря при заданном токе якоря i , находится как разность между током возбуждения i_{fk} по характеристике 3-фазного короткого замыкания при заданном значении тока якоря i и током возбуждения, соответствующим падению напряжения на сопротивлении X_p при заданном значении тока якоря i по характеристике холостого хода. Составляющая тока возбуждения i_{fa} может быть вычислена для измеренного значения тока якоря

с применением проектных данных СМ. Вектор тока i_{fa} откладывается от конца вектора i_{fp} параллельно вектору тока якоря i . Расчетный ток возбуждения i_f , соответствующий заданному току якоря i равен геометрической сумме векторов i_{fa} и i_{fp} .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный программный модуль «Построение векторной диаграммы Потье» позволяет визуализировать информацию о параметрах режима стационарных режимов работы СМ для визуального контроля при проведении испытаний и работе СМ по назначению, а так же определить параметры и характеристики СМ:

- номинальный ток возбуждения;
- регулировочные характеристики;
- U -образные характеристики;
- изменения напряжения при отключении нагрузки;
- угол нагрузки СМ;
- величину индуктивного сопротивления Потье X_p для известного угла нагрузки или тока возбуждения.

Для выявления возможных ошибок, не выявленных при тестировании необходимо дальнейшее тестирование модуля, разработанного в результате выполнения УИРС, для различных наборов исходных данных.

С целью сократить затраты вычислительных ресурсов на выполнение расчетов и построение диаграммы Потье необходимо оптимизировать алгоритм программного модуля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вольдек А. И., Попов В. В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. - СПб.: Питер, 2010. - 350 с.
2. ГОСТ 10169-77. Машины электрические трехфазные синхронные. Методы испытаний. Взамен ГОСТ 10169-68; введ. 01.01.1978 в части пп.25-27 01.07.1979. М.: Издательство стандартов, 1984.
3. ГОСТ Р МЭК 60034-4-2012. Машины электрические вращающиеся. Часть 4. Методы экспериментального определения параметров синхронных машин. Введ. 01.06.2014 г.
4. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. 4-е изд., сокр. и перераб. Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1984. 408 с.
5. Scherer H. N., Hadjny M. R., Provanzana J. H., White T. E. Monitoring of large generators of the American Electric Power System // CIGRE. 1982. Report 11-01. 8 p.
6. IEC 60050-411:1996 International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 411: Rotating machines.